

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.04.010

毫秒级延时起爆装置研究*

张新华 葛瑞荣 薛淑波

安徽红星机电科技股份有限公司(安徽合肥,231135)

[摘 要] 根据串联战斗部的使用要求,设计了毫秒级延时起爆装置替代引信起爆串联战斗部二级装药。毫秒级延时起爆装置使用硼/硝酸钾点火药实现毫秒级延期时间,利用钝黑-5 炸药的燃烧转爆轰特性实现稳定的爆轰输出;该装置在攻坚弹、反飞机跑道弹药、爆破炸坑器等串联战斗部弹药中使用,可简化弹药结构设计,提高弹药作用可靠性;具有使用安全、作用可靠、性能稳定等特点。

[关键词] 毫秒级;延时起爆装置;燃烧转爆轰

[分类号] TD235.2

引言

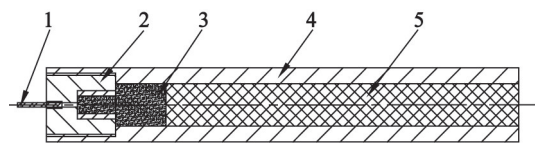
Butcher 等^[1]指出,为了便于研究炸药的燃烧转爆轰(DDT)过程,需选择强度适宜的点火器具,并尽可能使点火具输出的火焰面为平面。Leuret 等^[2]通过改变钢管壁厚和长度,进行了不同约束条件下压装炸药的燃烧转爆轰试验;试验表明:在强约束、长钢管内才有可能发生燃烧转爆轰现象。梁秀清等^[3]建立了对付爆炸反应装甲的串联聚能装药战斗部的主装药起爆延时计算模型。黄寅生等^[4]进行了微秒级延期传扩爆装置研究,通过利用一定爆速导爆索的长度变化及对导爆索进行扩爆输出实现了串联战斗部微秒级顺序起爆。赵同虎等^[5]进行的 DDT 管材料对颗粒状 RDX 床燃烧转爆轰影响的实验研究表明,DDT 管材料使用钢材比使用铝材更有利于炸药的燃烧转爆轰。余明祥等^[6]设计了由硼/硝酸钾为装填材料的串联战斗部用延时起爆装置,研究了燃烧转爆轰的影响因素,并对延时起爆装置的起爆威力判定进行试验验证和分析。

针对某些串联战斗部需要毫秒级延时起爆的需求,本文介绍了一种毫秒级延时起爆装置,该毫秒级延时起爆装置使用安全许用点火药,将炸药在设定的条件下点燃,使炸药由燃烧转为爆轰(DDT),实现了毫秒级延时起爆功能,延时起爆串联战斗部二级装药。

1 延时起爆装置设计^[7-8]

1.1 结构设计

毫秒级延时起爆装置主要由导爆索、延期体、点火药、管壳及炸药等组成,见图 1。



1 - 导爆索;2 - 延期体;3 - 点火药;4 - 管壳;5 - 炸药

图 1 毫秒级延时起爆装置结构

Fig. 1 Structure of the millisecond delay initiation device

以使用硼/硝酸钾点火药、钝黑-5 炸药为例介绍毫秒级延时起爆装置。

硼/硝酸钾点火药被美军《弹药火箭和导弹发动机点火系统安全性设计准则》中列为可直列的烟火药剂,具有输出能量高、可靠性高及感度适中等特性。钝黑-5 炸药为许用传爆药,符合安全要求。两种药剂在弹药中直接使用,均不需要隔爆。

1.2 作用原理

使用毫秒级延时起爆装置的串联战斗部弹药一般由引信起爆一级战斗部,形成穿孔,一级战斗部作用的同时,起爆毫秒级延时起爆装置输入端的导爆索,导爆索作用,经延期体中的传火孔点燃硼/硝酸钾延期索,延期索点燃硼/硝酸钾点火药,点火药点燃钝黑-5 炸药,钝黑-5 炸药在约束条件下进行端面燃烧,炸药燃烧生成的气体产物的生成速度大于气体产物排出速度,燃烧气体产物来不及扩散,造成炸药燃烧火焰阵面上的压力持续增加,从而加速炸药燃烧,进一步使压力增加,在主装药中形成压缩波,这些压缩波汇聚成强冲击波,冲击波起爆未压缩的

* 收稿日期:2014-10-24

作者简介:张新华(1970~),男,工程师,主要研究方向:发射装药和弹药装置。E-mail:9374zhangxinhua@163.com

通信作者:葛瑞荣(1963~),男,高级工程师,主要研究方向:火工品设计及工艺研究。

炸药,转变成爆轰波,最终形成爆轰输出,起爆二级战斗部。

2 对比试验与结果分析

以外形尺寸直径 14 mm、长度 90 mm、炸药装药直径 8 mm 的毫秒级延时起爆装置为例,研究了点火药量、管壳强度、炸药感度等因素对延时起爆装置输出威力的影响以及延期体传火孔大小对延期时间的影响。

2.1 不同点火药药量对延时起爆装置输出威力的影响

为了研究不同点火药药量对延时起爆装置输出威力的影响,分别使用 200、300、400、500、600 mg 硼/硝酸钾点火药,选用 45#钢作为管壳材料,压装硬脂酸质量分数为 1.4% 的钝黑-5 炸药,压药压力为 30 MPa,在低温(-40 ±2)℃条件下,对延时起爆装置输出威力进行了试验研究,采用 GJB 736.3—1989《火工品试验方法 轴向输出测定钢块凹痕法》对输出威力进行测试,每组试验发数为 20,其测试结果如表 1 所示。

表 1 不同点火药药量对延时起爆装置输出威力的影响

Tab.1 Effect of ignition charges on output power of the delay initiation device

点火药药量/mg	低温输出威力(钢凹值)/mm
200	0.41 ~ 1.10 (7 发为 0)
300	0.40 ~ 1.10 (4 发为 0)
400	0.70 ~ 1.10 (2 发为 0)
500	1.10 ~ 1.50
600	1.10 ~ 1.60

试验结果表明,增加点火药药量有利于炸药燃烧转爆轰。在点火药药量较少的情况下,炸药的燃烧转爆轰不可靠,输出威力不稳定,有的无爆轰能量输出;随着点火药药量的增加,炸药燃烧转爆轰趋于可靠,输出威力趋于稳定。

2.2 不同管壳材料对延时起爆装置输出威力的影响

为了研究管壳材料对延时起爆装置输出威力的影响,选用 400 mg 的点火药、硬脂酸质量分数为 1.4% 的钝黑-5 炸药,分别对 45#钢、45#钢(调质)、20CrMnTi 进行了试验研究,对输出威力进行了测试,测试结果见表 2。每组试验发数为 20。

试验结果表明,管壳材料强度越高,对于炸药的约束效果越好,越有利于炸药的燃烧转爆轰,所以延时起爆装置宜选用强度较高的管壳材料。

表 2 不同管壳材料对延时起爆装置输出威力的影响

Tab.2 Effect of tube materials on output power of the delay initiation device

管壳材料	低温输出威力(钢凹值)
45#钢	0.7 ~ 1.1 (2 发为 0)
45#钢(调质)	0.9 ~ 1.2 (1 发为 0)
20CrMnTi	1.0 ~ 1.3

2.3 炸药感度对延时起爆装置输出威力的影响

根据 GJB 5455—2005《钝黑-5 炸药规范》规定,钝黑-5 炸药中硬脂酸的质量分数为 1.0% ~ 1.5%。钝黑-5 炸药中的硬脂酸作为惰性介质,其含量的多少直接影响炸药的感度,硬脂酸含量越多,炸药感度越低;硬脂酸含量越少,炸药感度越高。

为了研究不同硬脂酸含量对延时起爆装置输出威力的影响,选用高强度 45#钢作为管壳材料,点火药药量为 300 mg,分别对质量分数为 1.1%、1.4% 的钝黑-5 炸药硬脂酸进行了试验研究,采用钢块凹痕法对输出威力进行考核,试验发数为 20,其结果见表 3。

表 3 炸药感度对延时起爆装置输出威力的影响

Tab.3 Effect of explosive sensitivity on output power of the delay initiation device

硬脂酸质量分数/%	低温输出威力(钢凹值)/mm
1.1	1.01 ~ 1.50
1.4	0.40 ~ 1.10 (4 发为 0)

表 3 中试验结果表明,当炸药中硬脂酸的质量分数较小时,可提高延时起爆装置的作用可靠性和输出威力。

2.4 延期体传火孔孔径的大小对延时起爆装置延期时间的影响

为了研究不同孔径的传火孔对延期时间的影响,使用 Ø4 mm × 4 mm 铅延期索(索芯装药为硼/硝酸钾,药芯直径约 2.5 mm),分别使用 Ø0.6 mm、Ø0.9 mm、Ø1.1 mm 传火孔进行延期时间测试,每组试验发数为 20,其结果见表 4。

试验结果表明,随着传火孔孔径增大,延期时间有延长的趋势,且延期时间标准偏差较小,延期时间精度有升高趋势;随着传火孔孔径减小,且延期时间标准偏差增大,延期时间精度有降低趋势。

3 综合性能测试

根据延时起爆装置输出威力影响因素分析,优

表 4 不同孔径的传火孔对延时起爆装置延期时间的影响

Tab. 4 Effect of fire hole diameters on delay time of the delay initiation device

传火孔孔径/ mm	延期时间/ ms	延期时间标准偏差/ ms
0.6	175 ~ 325	44.6
0.9	248 ~ 362	35.8
1.1	292 ~ 381	28.2

选强度较高的20CrMnTi作为管壳材料、点火药装药量为500 mg、硬脂酸质量分数为1.1%的钝黑-5炸药,使用传火孔孔径为0.6 mm的延期体,试制了80发毫秒级延时起爆装置,进行了综合性能试验。试验项目有:

震动试验:产品在符合 WJ 231—1977《震动试验机》规定的震动试验机上水平放置,以(150±2) mm落高,频率(1±1/60) Hz,连续震动2 h;

锤击试验:产品在符合 WJ 233—1977《锤击试验机》规定的锤击试验机上,以23齿(相当于29 kg)输出端向下锤击一次;

高温试验:产品在(70±2)℃的高温箱内保温48 h后转入(50±2)℃的高温箱内保温4 h;

低温试验:产品先在(-55±2)℃的低温箱内保温24 h,然后再转入(-40±2)℃的低温箱内保温4 h;

温度冲击试验:产品在(-55±2)℃的低温箱中保温4 h后,取出后转入(70±2)℃的高温箱中保温4 h,如此重复3次;

吸湿试验:产品在常温、相对湿度大于95%的环境中,保持24 h。

综合性能每组试验发数为20,试验结果如表5所示。

表 5 延时起爆装置综合性能试验

Tab. 5 Combination property test of the delay initiation device

试验项目	延期时间/ ms	输出威力 (钢凹值)/ mm
震动、锤击后 高温试验	183 ~ 338	1.32 ~ 1.76
震动、锤击后 低温试验	213 ~ 332	1.27 ~ 1.68
震动、锤击后 温度冲击试验	222 ~ 300	1.40 ~ 1.86
震动后吸湿试验	223 ~ 298	1.35 ~ 1.79

综合性能试验结果表明,延时起爆装置经各种环境试验后延期时间和输出威力性能稳定。统计数据表明,延时起爆装置作用可靠度大于0.99(当置信水平为0.90时)。

4 毫秒级延时起爆装置的应用

延时起爆装置在攻坚弹、反飞机跑道弹药、爆破炸坑器等串联战斗部弹药中得到了广泛应用。

延时起爆装置在某串联战斗部弹药中的应用效果如图2所示。



(a)一级战斗部作用瞬间
(点燃延时起爆装置)



(b)二级战斗部飞行中
(延时起爆装置延时过程中)



(c)二级战斗部作用瞬间
(延时起爆装置起爆二级战斗部)

图 2 延时起爆装置在弹药中的作用过程

Fig. 2 Interaction process of the delay initiation device in ammunition

应用情况表明,延时起爆装置代替引信起爆二级装药,具有简化弹药设计结构、提高系统作用可靠性等优点。

5 结论

1)毫秒(ms)级延时起爆装置使用符合安全性要求的药剂,在弹药中可直接使用,不需要隔爆,使用安全。

2)对比试验结果表明,毫秒级延时起爆装置输出威力影响因素主要有炸药感度、点火药量、管壳强度等。传火孔直径是影响毫秒级延时起爆装置延期时间大小及精度的重要因素。

3)综合性能试验结果表明,延时起爆装置具有良好的环境适应性,作用可靠,性能稳定。

4)应用结果表明,延时起爆装置在串联战斗部弹药中使用,替代引信起爆二级装药,具有简化弹药结构设计,提高弹药作用可靠性等特点。

参 考 文 献

- [1] Butcher A G, Keefe R L, Robinson N J, et al. Effects of igniter and compaction on DDT run-up in plastic pipes [C]//Proceedings of 7th Symposium (International) on Detonation. 1982: 143-150.
- [2] Leuret F, Chaisse F, Presles H N, et al. Experimental study of the low velocity detonation regime during the deflagration to detonation transition in a high density explosive[C]//Proceedings of 11th Symposium (International) on Detonation. 1998: 693-700.
- [3] 梁秀清, 曾凡君, 李景云, 等. 串联装药战斗部的主装药起爆延时计算模型[J]. 兵工学报, 1994 (3): 90-93.
Liang Xiuqing, Zeng Fanjun, Li Jingyun, et al. A computational model for the time delay of main charge ignition in a tandem warhead [J]. Acta Armamentarii, 1994 (3): 90-93.
- [4] 黄寅生, 张春祥, 沈瑞琪, 等. 微秒级延期传扩爆装置研究[J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2002, 26 (3): 308-311.
Huang Yinsheng, Zhang Chunxiang, Shen Ruiqi, et al. Experimental study on the μ s delay transmission and amplifying of detonation [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology: Natural Science, 2002, 26 (3): 308-311.
- [5] 赵同虎, 张寿齐, 张新彦, 等. DDT 管材料对颗粒状 RDX 床燃烧转爆轰 (DDT) 影响的实验研究[J]. 高压物理学报, 2000, 14 (2): 99-104.
Zhao Tonghu, Zhang Shouqi, Zhang Xinyan, et al. An experimental study of the effects of DDT tube materials on the deflagration to detonation transition in granular RDX bed [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2000, 14 (2): 99-104.
- [6] 余明祥, 徐乃成, 王本河, 等. 硼/硝酸钾点火药燃烧转爆轰的应用[J]. 火工品, 2008 (6): 15-17.
Yu Mingxiang, Xu Naicheng, Wang Benhe, et al. The application of DDT of B/ KNO_3 ignition powder [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2008 (6): 15-17.
- [7] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999.
- [8] 王凯民, 温玉全. 军用火工品设计技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
Wang Kaimin, Wen Yuquan. Design of initiators and pyrotechnics for weapon system [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2006.

Study on a Millisecond Delay Initiation Device

ZHANG Xinhua, GE Ruirong, XUE Shubo

Anhui Hongxing Electrical Polytron Technologies Co., Ltd. (Anhui Hefei, 231135)

[ABSTRACT] According to the using requirements of tandem warhead, a millisecond delay initiation device was designed in substitution for secondary charge of fuse action tandem warhead. Boron/potassium nitrate ignition composition was used in the millisecond delay initiation device to realize millisecond delay time. Because of the transition characteristics of deflagration to detonation, desensitized RDX-5 explosive was used to realize stable detonation transfer capability. The device is used for tandem warhead such as hard structure ammunition, anti airstrip ammunition, blasting pit device and so on. It not only can simplify the structure design of ammunition, but also increase the reliability. And it has subsequent characteristics: the use of safe, reliable capability and stable performance.

[KEY WORDS] millisecond level; delay initiation device; transition of deflagration to detonation